

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

И.С.ШАХОВ д-р геогр. наук, проф., Н.А. АКИШЕВА
Уральский государственный технический университет

Наличие быстродействующей вычислительной техники и весьма эффективных имитационных и экономико – математических моделей позволяет существенно улучшить проектирование водохозяйственных систем. Совсем недавно приемлемый состав источников водоснабжения выбирался из 2 – 3 вариантов. Сегодня вычислительная техника позволяет сравнить не 2 – 3, а десятки и сотни вариантов.

Часто при выборе оптимального состава элементов водохозяйственной системы принимают во внимание затраты на её строительство и эксплуатацию. Известно, что удельные затраты уменьшаются с увеличением производительности станций водоподготовки. Поэтому минимальные удельные затраты по системе водоснабжения получаются при совместной водоподготовке практически из всех источников водоснабжения. Однако объединение всех источников водоснабжения в единую гидравлически связанную систему, состоящую из малых водохранилищ, может привести к негативным последствиям в чрезвычайных ситуациях. Такие ситуации могут наступить, например, в случае поступления в систему загрязняющих веществ. При скорости течения воды в водохранилище менее 0,1 м/с и хорошем перемешивании воды согласно [1] максимальная концентрация поступивших в результате аварии веществ в воде водоёма ($C_{\max, в}$) может быть оценена по уравнению (1)

$$C_{\max, в} = \frac{C_{\max}^1 Q \tau}{2V_b} \quad (1)$$

где, C_{\max}^1 – максимальная концентрация загрязняющего вещества в потоке воды реки, впадающей в водохранилище, мг/л; Q – расход потока воды перед

впадением в водохранилище, м³/с; τ - время прохождения всей массы загрязняющих веществ через устьевой створ сбросного сооружения, с.

В случае аварии в районе впадения малой реки в водохранилище, τ будет равно практически времени опорожнения ёмкости, потерпевшей аварию.

Продолжительность ($\Delta\tau$) опорожнения элементарного объема ёмкости (ΔV) согласно [2] может быть рассчитана по уравнению (2)

$$\Delta\tau = \frac{\Delta V}{\mu\omega\sqrt{2gH}}, \quad (2)$$

μ - коэффициент расхода; ω - площадь истечения раствора из потерпевшей аварию ёмкости, м²; H - напор, м.

Полное время опорожнения ёмкости эллипсоидального поперечного сечения в зависимости от размера отверстия (ω) и её объема (V , м³) может быть оценено по уравнению (3)

$$\tau = \frac{1,93(V_i^{0,63} - 0,12)}{\omega_i^{0,99}}, \quad (3)$$

При аварии нескольких ёмкостей время опорожнения подсчитывается по каждой из них и для дальнейшего расчета принимается наибольшее.

Средний расход раствора за время опорожнения каждой ёмкости можно оценить по уравнению (4)

$$q_i = \frac{V_i\omega_i^{0,99}}{1,93(V_i^{0,63} - 0,12)}, \quad (4)$$

Средний суммарный расход раствора при аварии нескольких емкостей подсчитывается по уравнению (5)

$$\sum_i q_i = \frac{\sum_i^n V_i\omega_i^{0,99}}{1,93\sum_i^n (V_i^{0,63} - 0,12)}, \quad (5)$$

Максимальная концентрация примеси в малой реке несколько выше водохранилища при полном перемешивании (C^1_{\max}) может быть оценена по известному уравнению (6)

$$C^1_{\max} = \frac{C_{cm} q_{cm} + C_p Q_p}{Q_z + q_{cm}} \quad (6)$$

C_{cm} , C_p – соответственно концентрации загрязняющего вещества в сточной воде и фоновая, мг/л; q_{cm} , Q_p – соответственно расходы сточных вод и реки в месте впадения сточных вод.

При отсутствии в речной воде веществ, поступающих с аварийными стоками, произведение $C_p Q_p$ принимается равным нулю. Подставив в уравнение (6) вместо q_{cm} его значение из (5) и выполнив некоторые преобразования получим общее уравнение для оценки концентрации примеси в речной воде

$$C^1_{\max} = \frac{C_{cm} \sum_{i=1}^n V_i \omega_i^{0,9}}{1,93 Q_p \sum_{i=1}^n (V_i^{0,63} - 0,12) + \sum V_i \omega_i^{0,99}} \quad (7)$$

Максимальная концентрация примеси в воде водохранилища ($C_{\max, в}$) при хорошем перемешивании с учетом изложенного может быть подсчитана по уравнению

$$C_{\max, в} = \frac{0,5 C_{cm} (V^{0,63} - 0,12) \sum_{i=1}^n V_i \omega_i^{0,99}}{V_b \omega_x^{0,99} \sum_{i=1}^n (V_i^{0,63} - 0,12)} \quad (8)$$

где C_{cm} – концентрация примеси в растворе потерпевшей аварии ёмкости; ω_x и V_x – соответственно площадь прорана и объем потерпевшей аварии ёмкости с наибольшим временем опорожнения, m^2 , m^3 ; V_i , ω_i – объемы и площади проранов потерпевших аварии ёмкостей, m^3 , m^2 ; V , b – объем водохранилища в период аварии.

Концентрации примесей в зоне загрязненных масс воды уменьшаются за счет их переноса в различных направлениях под воздействием турбулентной диффузии и биохимического распада веществ. Наиболее сложная ситуация создается при слабой проточности в мелководных водохранилищах ($H_{\text{ср}} < 10\text{м}$). Скорость течения в таких водохранилищах в зимний период существенно меньше 0,1 м/с. В таких условиях поступившие в водохранилище загрязненные массы воды разбавляются водой водохранилища незначительно и перемещаются в сторону водозабора сравнительно небольшой зоной. При сравнительно кратковременном (≤ 2 часов) поступлении примесей непосредственно в водохранилище максимальная концентрация загрязняющего вещества может быть оценена согласно [1] по уравнению

$$C_{\text{max. б}} = C_{\text{см}} \theta e^{-K \frac{\tau_{\text{у.х}} - 0,5 \tau_0}{86400}} \quad (9)$$

где $C_{\text{см}}$ – концентрация загрязняющего вещества в растворе, мг/л; θ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние турбулентной диффузии; K – коэффициент скорости самоочищения (биохимического превращения), 1/сут; $\tau_{\text{у.х}}$ – время, через которое центр зоны достигнет расчетного створа, с; τ_0 – время, в течение которого происходил аварийный сброс, с; e – основание натуральных логарифмов, равно 2, 72.

Коэффициент θ оценивается по уравнению (10)

$$\theta = \frac{2}{1 + K_b Z^{111}} \quad (10)$$

где K_b – безразмерный коэффициент, определяемый по специальному графику в зависимости от Z^{111} . При $Z^{111} > 3,14$ $K_b = 1,72$. Значения Z^{111} подсчитываются по уравнению (11)

$$Z^{111} = \frac{4D\tau_{\text{у.х}}}{\tau_0^2 (\text{учл})} \quad (11)$$

где D – средневзвешенное значение коэффициента диффузии, вычисляемое по уравнению

$$D \approx 96V_{cp}^2 \cdot \frac{H_{cp}}{g} \quad (12)$$

где V_{cp} и H_{cp} – соответственно средние скорость и глубина на участке от поступления примеси в водохранилище до расчетного створа, м/с, м; g – ускорение силы тяжести, 9,81 м/с²; τ_0 (усл) – условный начальный радиус загрязненной зоны, оцениваемый по уравнению (13)

$$\tau_{0(усл)} = \tau_0 \cdot \sqrt{\frac{H_0}{H_{cp}}} \quad (13)$$

где H_{cp} подсчитывается как средняя взвешенная глубина с учетом длин участков водохранилища между изобатами; τ_0 – радиус круга начальной зоны загрязненных вод, равный

$$\tau_0 = \sqrt{\frac{V_{cm}}{\pi H_0}} \quad (14)$$

где $\pi = 3,14$, H_0 – глубина в месте поступления в водохранилище сточных вод во время аварии; V_{cm} – объем сточных вод.

Выполненные нами расчеты по уравнению (8) при аварии пяти цистерн ёмкостью 40 м³ каждая с образованием прорана в 0,1 м² и концентрацией раствора пестицида DD 500 г/л [3] показали, что максимальная концентрация DD в районе водозабора составляет 5,0 мг/л.

Принимая близкими к реальным скорости течения в небольших водохранилищах ($\ll 0,1$ м/с), а также глубину в месте поступления раствора 2,0 м и на участке от этого места до створа водозабора $\approx 5,0$ м, максимальная концентрация DD по уравнению (9) получена равной 394 мг/л при ПДК в воде водоёмов санитарно – бытового назначения 0,4 мг/л.

Таким образом, особенности гидравлического режима малых водохранилищ не позволяют обеспечить надежное водоснабжение населения из гидравлически объединённой системы водоснабжения в период чрезвычайных ситуаций.

Система водоснабжения в чрезвычайных ситуациях будет эффективной при формировании её в количестве не менее трех гидравлически не связанных подсистем, хотя по экономическим показателям она и не обеспечит минимума приведенных затрат на её создание и эксплуатацию.

1. Временные методические рекомендации по прогнозированию загрязненности водных объектов при аварийном сбросе загрязняющих веществ / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Новочеркасск, 1984. 92 с.
2. Прозоров И.В., Николадзе Г.И., Минаев А.В. Гидравлика, водоснабжение и канализация городов / М.: Высшая школа, 1975. 422 с.
3. Пестициды. Справочник / Мартыненко В.И., Промоненков В.К., Кукаленко С.С. и др. – М.: Агропромиздат, 1992. 368 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА И КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД ГПО "УРАЛВАГОНЗАВАД"

Н.А. ПЕТРОВА канд. техн. наук, доц., А.В. АВДЕЕВ, М.Ю. ОКУТИН

Уральский государственный технический университет

Качество воды р. Тагил и ее притоков в черте города не соответствует установленным нормам по санитарно-токсикологическим, общесанитарным, органолептическим и рыбохозяйственным показателям.

В воде р. Тагил и ее притоках в значительных количествах содержатся: хром, свинец, железо, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, фенол, фтор.

Концентрации загрязняющих веществ в среднем за год по материалам 1990-1992 г. во много раз превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов: по меди в 40-80 раз, цинку 8-16, нефтепродуктам 5, марганцу 12-20 раз.